

Spannungsmessung an Hybridmotoren

Im Bereich der Kraftfahrzeuge werden zunehmend Hybridantriebe interessant. Diese Antriebsform verfügt neben einem konventionellen Verbrennungsmotor zusätzlich über einen Elektromotor. Die Speisung des Elektromotors und die Rückspeisung bei Bremsvorgängen erfolgt dabei über Batterien, die üblicherweise eine Spannung von mehreren hundert Volt aufweisen können. Ein messtechnisches Problem entsteht bei Messungen einzelner, kaskadierter Zellenspannungen. Zwar betragen die Zellenspannungen üblicherweise nur wenige Volt, jedoch entsteht durch die Hintereinanderschaltung der Zellen ein hohes Spannungsniveau, auf dem die Zellenspannung gemessen werden muss. Dieses Whitepaper zeigt, worauf bei solchen Messaufgaben zu achten ist und hilft, den geeigneten Messverstärker auszuwählen. Die Thematik wird dabei aus Sicht des Anwenders und nicht des Entwicklers von Verstärkern betrachtet.

Was ist Gleichtaktspannung?

Am nachfolgenden einfachen Beispiel soll erläutert werden, was sich hinter dem Begriff der Gleichtaktspannung verbirgt. Betrachtet man eine Spannungsquelle, bestehend aus 3 V-Zellen und will man die Zelle deren Minuspol auf 300 V liegt messen, so liegt der negative Eingang des Messverstärkers auf 300 V und der positive Eingang auf 303 V.

Unter der Gleichtaktspannung U_{GL} wird der Mittelwert der Spannungen an den Verstärkereingängen verstanden. Im dargestellten Beispiel (Abb. 1) beträgt die Gleichtaktspannung $U_{GL} = 301,5$ V. Der Messverstärker hat nun die Aufgabe, die zwischen seinem Plus- und Minuseingang anliegende Spannung von 3 V korrekt zu messen, ohne sich von der Gleichtaktspannung beeinflussen zu lassen.

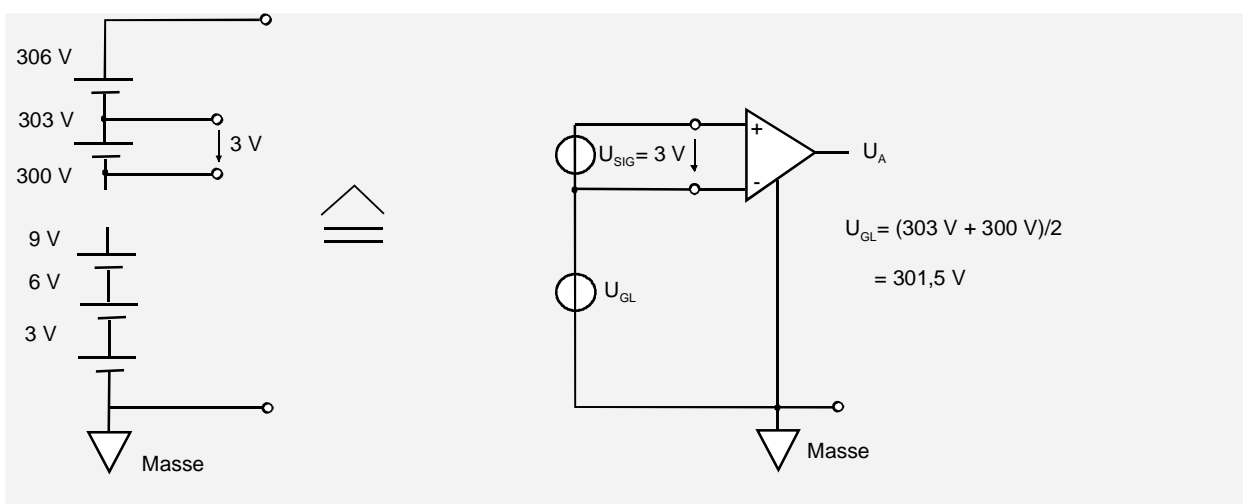


Abb. 1: Entstehung von Gleichtaktspannungen an einer Batterie

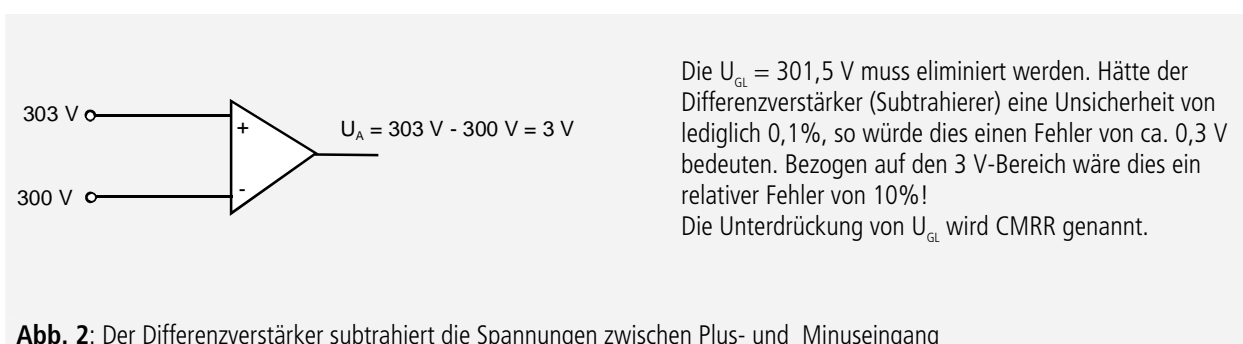


Abb. 2: Der Differenzverstärker subtrahiert die Spannungen zwischen Plus- und Minuseingang

Die $U_{GL} = 301,5$ V muss eliminiert werden. Hätte der Differenzverstärker (Subtrahierer) eine Unsicherheit von lediglich 0,1%, so würde dies einen Fehler von ca. 0,3 V bedeuten. Bezogen auf den 3 V-Bereich wäre dies ein relativer Fehler von 10%! Die Unterdrückung von U_{GL} wird CMRR genannt.

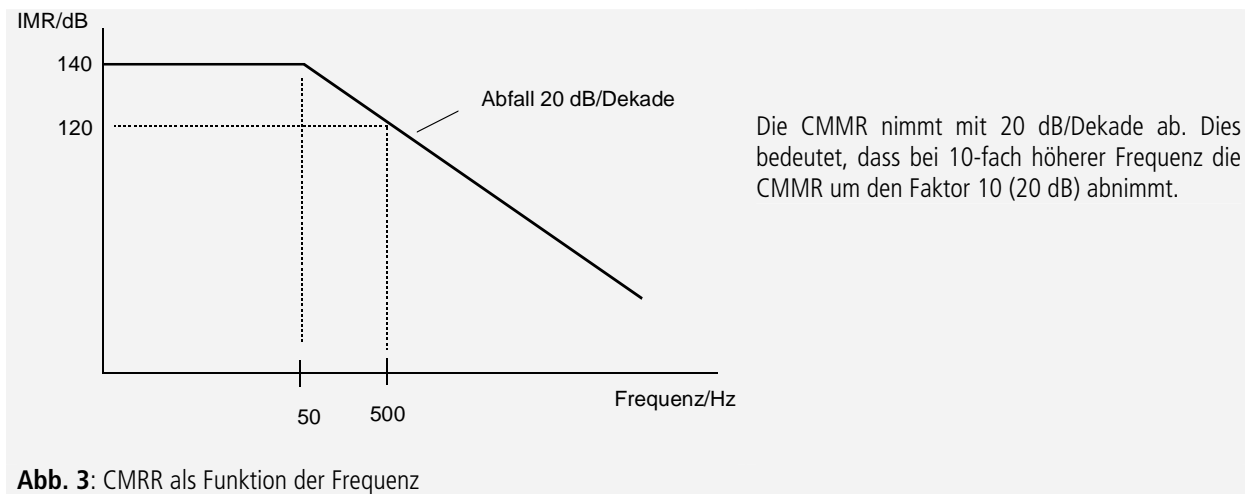


Abb. 3: CMRR als Funktion der Frequenz

Wie das Beispiel an Abb. 2 Bild zeigt, müsste die Differenz mit einer extrem kleinen Unsicherheit ermittelt werden, um die 3 V hinreichend genau messen zu können. Bei Verstärkern wird die Fähigkeit, Gleichtaktspannungen zu unterdrücken, üblicherweise als CMRR (Common Mode Rejection Ratio) bezeichnet. Die Ausgangsspannung U_A ergibt sich in diesem Fall zu

$$U_A = U_{\text{SIG}} + U_{\text{GL}} / \text{CMRR}$$

Gute Verstärker unterdrücken Gleichtaktspannungen mit 120 dB (Faktor 10^6), sehr gute erreichen bis zu 140 dB (Faktor 10^7). Zu beachten ist allerdings, dass diese CMRR meist nur für 50/60 Hz angegeben wird. Typischerweise wird die CMRR mit höherer Frequenz der Gleichtaktspannung geringer.

Dies ist besonders zu beachten, da bei Hybridantrieben neben der Gleichspannungsbatterie ein Wechselrichter zur Ansteuerung des Elektromotors zwischengeschaltet ist. Stammt die Gleichtaktspannung vom Wechselrichter, so kann davon ausgegangen werden, dass die im Wechselrichter vorhandenen Frequenzen im kHz-Bereich liegen und die CMRR für solche Signale wesentlich geringer ist. Beispielsweise beträgt die CMRR im obigen Bild bei 50 kHz nur noch 80 dB.

Isolierte Verstärker

Bei Messungen an hohen Spannungen werden sehr häufig isolierte Verstärker eingesetzt. Einerseits soll

Schaden an der Messeinrichtung vermieden werden und andererseits ist der Schutz von Personen zu gewährleisten. Besonders hohe Gleichspannungen, wie sie beispielsweise bei Batterien für Hybridautos vorhanden sind, können für Menschen bei Berührung gefährlich werden.

Bei Isolationsverstärkern ist zwischen solchen zu unterscheiden, die eine Blockisolierung aufweisen und solchen, bei denen jeder Kanal einzeln isoliert ist. In Abb. 4 ist eine Blockisolation für zwei Kanäle dargestellt. Die Eingangsspannungen U_{SIG1} und U_{SIG2} beziehen sich jeweils auf die Masse 1. Beispielsweise darf keine der vier Eingangsleitungen eine höhere Potentialdifferenz als 10 V gegenüber Masse 1 aufweisen. Zwischen den Massen 1 und 2 sei dagegen eine Potentialdifferenz von 1000 V (Trennungsspannung oder Isolationsspannung) zulässig. Diese Form der Anordnung führt für den Anwender sofort zu der Frage, ob er die Masse 1 an einen der beiden Eingänge anschließen soll, oder ob er die Masse 1 ohne Bezug „floaten“ lassen soll. Schließlich haben seine anzuschließenden Sensoren, die die Spannungen U_{SIG1} und U_{SIG2} abgeben, üblicherweise nur zwei und nicht drei Anschlussleitungen. Eine allgemeingültige, zufriedenstellende Antwort kann bezüglich des Anschlusses der Masse 1 nicht gegeben werden. Häufig erweist es sich aber als günstiger, die Masse 1 festzulegen.

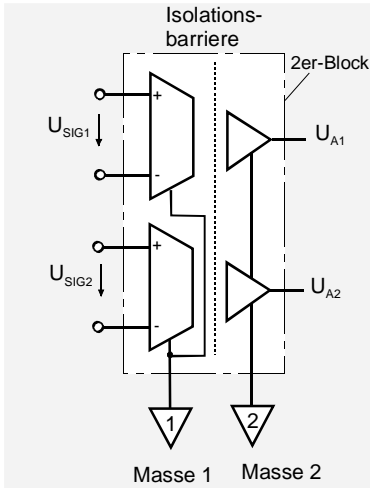
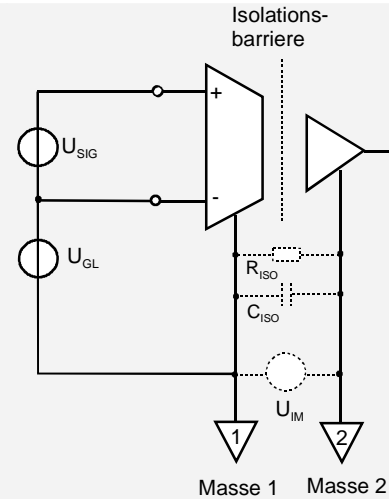


Abb. 4: Blockisolierung bei zwei Eingängen



U_{IM} = Potentialdifferenz zwischen Masse 1 und Masse 2
 R_{ISO} = Parasitärer Isolationswiderstand
 C_{ISO} = Parasitäre Kapazität

Abb. 5: Modell bei Blockisoliation

Um die Verhältnisse bei blockisolierten Verstärker zu verstehen, wird im rechten Bild (Abb. 5) ein Modell verwendet, das für einen Kanal dargestellt ist.

Auf der Seite der Messquelle, deren Spannung U_{SIG} über die Gleichtaktspannung U_{GL} mit der Masse 1 gekoppelt ist, gilt das bereits vorher gesagte. Im Messverstärker selbst wird z.B. durch magnetische oder optische Kopplung eine galvanische Trennung geschaffen, die die gewünschte Isolationsbarriere realisiert. Zwischen den Massen 1 und 2 kann eine zusätzliche Spannung U_{IM} vorhanden sein, die die in den technischen Daten angegebene Trenn- oder Isolationsspannung nicht überschreiten darf. Die Unterdrückung der Spannung U_{IM} wird in Datenblättern als IMR (Isolation Mode Rejection) angegeben. In solch einem Falle ergibt sich die Ausgangsspannung zu

$$U_A = U_{SIG} + U_{GL} / CMRR + U_{IM} / IMR$$

Werden die Kanäle einzeln isoliert aufgebaut, was natürlich mit erheblich höheren Kosten verbunden ist (jeder Kanal benötigt eine separate Versorgung), so kann der Minuseingang des Verstärkers auf Masse 1 gelegt werden. Dies geschieht durch den Hersteller und ist daher vom Anwender nicht weiter zu beachten. Bei

mehreren Kanälen ist dann jeder Kanal gegen jeden anderen Kanal und alle gegenüber der Masse 2 isoliert.

In diesem Fall wird der Verstärker im sogenannten Single-Ended-Mode genutzt. Dadurch kann sich auf der Eingangsseite des Verstärkers keine Gleichtaktspannung ergeben und die Ausgangsspannung U_A ergibt sich in diesem Fall zu

$$U_A = U_{SIG} + U_{IM} / IMR$$

Was also bei nichtisolierten Verstärkern die CMRR ist, ist bei einzeln isolierten Verstärkern die IMR. Für Einzel- und Blockisoliation ist zu beachten, dass eine ideale Trennung zwischen den Massen nur für Gleichspannungsunterschiede vorhanden ist.

Während der parasitäre Isolationswiderstand recht hoch sein kann ($10^{12} \Omega$), ist der Einfluss der parasitären Kapazität C_{ISO} bei hohen Frequenzen nicht zu vernachlässigen. Nimmt man beispielsweise eine geringe Kapazität von lediglich 10 pF an, so ergibt sich für eine

Signalfrequenz von $f = 1 \text{ MHz}$ ein kapazitiver Widerstand von $X_C = 1 / (2 \pi f C_{ISO}) = 15,9 \text{ k}\Omega$. Praktisch bedeutet dies, dass die Trennwirkung für hohe Frequenzen immer geringer wird.

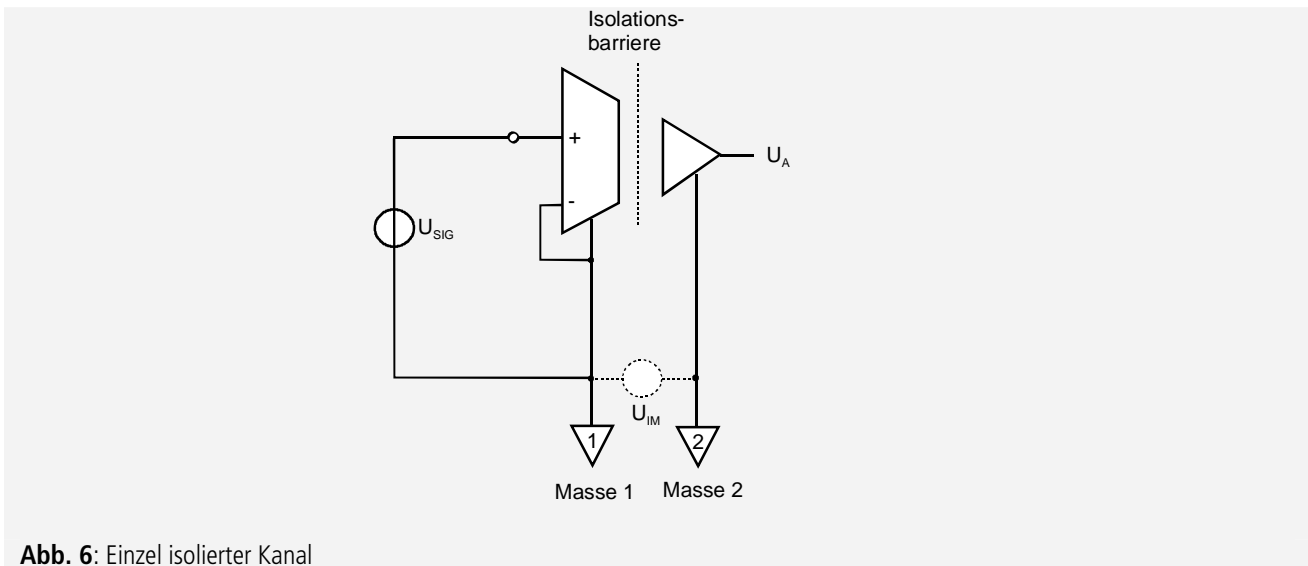


Abb. 6: Einzel isolierter Kanal

Isolationsspannung gleich Prüfspannung?

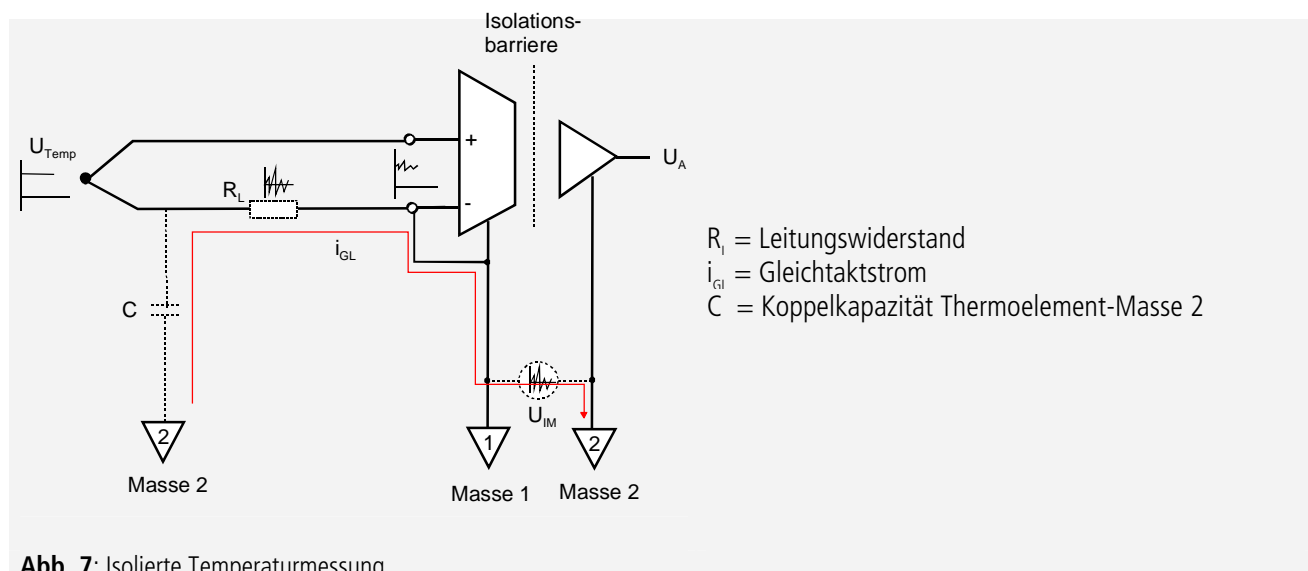
In den Datenblättern der verschiedenen Hersteller von isolierten Verstärkern tauchen eine Vielzahl von Begriffen auf, die für den Anwender nur schwer nachzuvollziehen sind. Einerseits gibt es die Isolationsspannung U_{ISO} (maximal zulässige Spannung U_{IM}), die zwischen den Massen vom Anwender maximal angelegt werden darf und andererseits gibt es die Prüfspannung $U_{Prüf}$. Der Hersteller prüft jeden Kanal vor Auslieferung mit einer Prüfspannung, die wesentlich höher ist als die zu haltende Isolationsspannung. Diese Spannung $U_{Prüf}$ ist z.B. nach der amerikanischen UL-Spezifikation

$$U_{Prüf} = 2 U_{ISO} + 1000 \text{ V}$$

wobei die Spannung für 60 s anliegen muss und ein minimaler Strom nicht überschritten werden darf. Entsprechend des Personenschutzes werden auch Schutzklassen CAT I bis III definiert, die jeweils unterschiedliche Prüfspannungen erforderlich machen.

Isoliert meint nicht unbedingt problemfrei

Abschließend soll an einem kleinen Beispiel der Temperaturmessung mit einem Thermoelement gezeigt werden, dass auch bei isolierten Messungen Störprobleme auf Grund von Potentialunterschieden auftreten können. Hierzu soll Abb. 7 betrachtet werden.



- R_L = Leitungswiderstand
- i_{GL} = Gleichtaktstrom
- C = Koppelkapazität Thermoelement-Masse 2

Abb. 7: Isolierte Temperaturmessung

Beispielsweise soll ein Thermoelement leitend mit einem elektronischen Bauelement eines Wechselrichters bei einem Hybridfahrzeug gekoppelt sein. Zwischen den beiden Massen ist also eine Spannung U_{IM} vorhanden, die sich sehr rasch ändern kann. Hier sind Änderungsgeschwindigkeiten von mehreren 100 V/ μ s nicht selten. Um die Auswirkungen deutlich zu machen, sei in unserem Beispiel angenommen, dass sich die Spannung U_{IM} mit $dU_{IM}/dt = 100 \text{ V}/\mu\text{s}$ ändern soll. Als Kapazität zwischen Thermoelement und Masse 2 soll ein Wert von lediglich $C = 5 \text{ pF}$ angenommen werden. Damit ergibt sich der Strom durch den Kondensator bei der Annahme, dass U_{IM} nahezu vollständig über dem Kondensator abfällt zu

$$i_{GL} = C \, dU_{IM}/dt = 5 \text{ pF} \cdot 100 \text{ V}/\mu\text{s} = 0,5 \text{ mA}$$

Wird für den Widerstand R_L ein Wert von 1Ω angenommen (entspricht einer Leiterlänge von ca. 1 m), so ergibt sich ein Spannungsabfall von 0,5 mV. Bedenkt man, dass bei einem Thermoelement des Typ K eine Spannung von ca. 40 $\mu\text{V}/\text{K}$ erzeugt wird, entspricht der Spannungsabfall an R_L bereits einem Messfehler von mehr als 10 K, denn am Eingang des isolierten Verstärkers wird die Summe der Spannung vom Thermoelement und dem Spannungsabfall R_L gemessen.

Dass das geschilderte Problem häufig bei praktischen Messungen nur in abgemilderter Form auftritt liegt daran, dass auch auf der oberen Leitung des Thermoelementes (+ Eingang des Verstärkers) ebenfalls ein Widerstand und eine Kapazität nach Masse vorhanden ist. Wären beide RC-Kombinationen gleich groß, so würden sich die Effekte bei der Differenzbildung im Verstärker subtrahieren. Leider sind bei Thermoelement-Messungen die Leitungen, aus denen das Thermoelement aufgebaut ist, aus unterschiedlichem Material mit stark unterschiedlichen Widerständen.

Das geschilderte Problem tritt aber nicht nur bei isolierten Verstärkern auf. Auch bei nicht isolierten Differenzverstärkern kann eine vorhandene Gleichtaktspannung ähnliche Effekte hervorrufen.

Autor: Prof. Dr.-Ing. Klaus Metzger

Prof. Dr.-Ing. Klaus Metzger ist Gesellschafter der imc Meßsysteme GmbH, Berlin und dort für das Technologiemarketing verantwortlich.

Weitere spannende Whitepapers und Anwendungsberichte finden Sie unter:

Webseite imc Meßsysteme GmbH: <http://www.imc-berlin.de>

Webseite ADDITIVE GmbH: <http://www.additive-net.de>

Kontakt für weitere Informationen

- Bitte übersenden Sie mir weitere Informationen
- Bitte rufen Sie mich für ein Beratungsgespräch an

Firma: _____

Abteilung: _____

Vorname, Name: _____

Straße, Hausnr.: _____

PLZ, Ort: _____

Telefon: _____

Fax: _____

E-Mail: _____